

Die klinische Bedeutung endodontischer Werkstoffe*

von G. Schmalz

Der Erfolg einer endodontischen Behandlung ist von einer exakten Diagnostik und Indikationsstellung, der einwandfreien technischen Durchführung der Behandlungsmaßnahmen und von der korrekten Verwendung entsprechender Medikamente und Werkstoffe abhängig. Letztere sind biologisch keineswegs inert, sondern besitzen erwünschte, aber auch unerwünschte Wirkungen auf die Pulpa und das periapikale Gewebe. Aufgrund dieser Eigenschaften ergeben sich Indikation und Verarbeitung. Im vorliegenden Referat soll anhand einiger weniger Beispiele aus der Endodontie die Verknüpfung von Werkstoffkunde und Praxis dargestellt werden.

Endodontische Materialien gehören heute nach einem Beschluß der Leitenden Medizinalbeamten der Länder (4) in die Gruppe der Arzneimittel im engeren Sinne (§ 2/Abs. 1 AMG). Das bedeutet u.a., daß Wirksamkeit (therapeutische Eigenschaften) nachgewiesen und Toxizität/Gewebeunverträglichkeit (unerwünschte Eigenschaften) präklinisch und klinisch untersucht werden müssen. Im Sinne einer Risikoabwägung entscheidet letztendlich das BGA über die Zulassung eines neuen Präparates. Diese Einstufung endodontischer Werkstoffe als Arzneimittel ist insofern problematisch, als zwar in manchen Fällen eine pharmakologische Wirkung beabsichtigt wird, in anderen dagegen die Wirkungsweise als rein inertes Implantat anzusehen ist.

Die Bestimmungen des AMG gelten allerdings nur für solche Werkstoffe, die nach dem 1. 1. 1980 zum freien Verkauf angemeldet wurden. Bisher auf dem Markt befindliche sind weiterhin ohne Prüfung erhältlich.

1. Vitalerhaltung der Pulpa

Systematik

Zur Vitalerhaltung der Pulpa werden vor allem Zinkoxid-Eugenol-Präparate, Kalziumhydroxidmaterialien und Kortikoid-Antibiotika-Pasten verwandt.

Zinkoxid-Eugenol-Präparate

Therapeutische Eigenschaften: Appliziert man Zinkoxid-Eugenol auf die geschlossene Dentindecke, so zeigt die Pulpa von Versuchstier und Mensch auch bei tiefen Kavitäten lichtmikroskopisch keine Reaktion (Abb. 1,2). Hinzu kommen u.a. bakterizide Eigenschaften und ein sedierender Effekt. Letzterer beruht wahrscheinlich auf der Wirkung geringster Mengen von Eugenol auf die Reizleitung von Nerven, was am Versuchstier (62) nachgewiesen werden

* Vortrag Bayerischer Zahnärztetag 1984

konnte. Nach KOZAM (33) war noch eine 0,01%ige Eugenollösung in der Lage, die Impulsübertragung am isolierten Ischiasnerv zu unterdrücken.

Unerwünschte Eigenschaften: Zinkoxid-Eugenol wirkt in der Zellkultur bei direktem Zellkontakt und nach intramuskulärer Implantation in die Kaninchenmuskulatur (Abb. 3,4) äußerst toxisch (34,55). Als Ursache dafür wird das Eugenol angesehen, welches auch aus dem erhärteten Werkstoff abgegeben wird. Eugenol ist zwar mit einer akuten LD₅₀ von 0,5 g/kg Körpergewicht bei weißen Mäusen vergleichsweise ungiftig und ein gefahrloser Nahrungsmittelzusatz, bei direktem Gewebekontakt wird jedoch über ausgeprägte Nekrosen und starke Entzündungsreaktionen berichtet (55). Diese Ergebnisse konnten auch klinisch bestätigt werden, da bei der direkten Applikation von Zinkoxid-Eugenol auf die eröffnete Pulpa Nekrosen und ausgedehnte Entzündungsreaktionen die Folge waren (7).



Abb. 1 Die Prüfung der Pulpaverträglichkeit am Versuchstier – *Macacus fascicularis* (vgl. Abb 2)

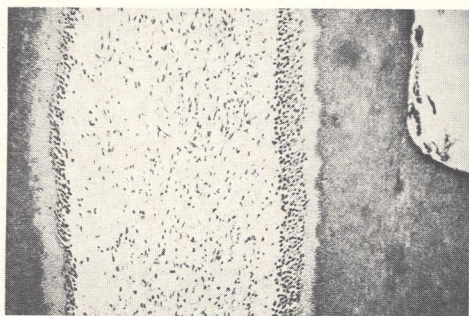


Abb. 2 Keine Pulpareaktion auf Zinkoxid-Eugenol bei tiefer Kavität (Vergr.: ca. 160×)



Abb. 3 Die Prüfung der lokalen Toxizität durch Implantation in die Kaninchenmuskulatur (vgl. Abb. 4–8)

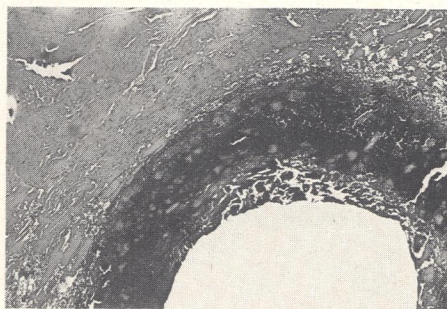


Abb. 4 Massive Zellreaktion nach Implantation von Zinkoxid-Eugenol – 24 Std. Alterung vor Versuchsbeginn (Vergr.: ca. 40×)

Der Unterschied im biologischen Verhalten von Zinkoxid-Eugenol bei geschlossener und eröffneter Pulpa läßt sich durch unterschiedliche Konzentrationen des Eugenols erklären. Wegen seiner geringen Wasserlöslichkeit kommt es bei einer Diffusion durch eine dünne, jedoch mit einer Schmierschicht bedeckte Dentinschicht zu einer starken Abnahme der wirksamen Konzentration (34). Aus diesem Grund wird auch eine eugenolarme Mischung gefordert, wodurch im übrigen auch die mechanischen Eigenschaften verbessert werden.

Indikation: Zinkoxid-Eugenol-Präparate sind bei einer Caries profunda mit Schmerzsymptomatik einer reversiblen Pulpitis und sicher geschlossener Pulpa indiziert. Bei eröffneter Pulpa dürfen sie nicht verwandt, bzw. nicht in direktem Kontakt mit dem Markorgan gebracht werden. Der kritische Bereich muß mit einer Kalziumhydroxidsuspension überschichtet werden.

Kalziumhydroxid-Präparate

Therapeutische Eigenschaften: Die biologische Wirkung von Kalziumhydroxiden auf die Pulpa beruht größtenteils auf ihren bakteriziden Eigenschaften und auf ihrer Fähigkeit, über eine streng begrenzte Nekrose eine vermehrte Bildung von Reizdentin zu bewirken. Bei der eröffneten Pulpa kommt es außerdem durch Umwandlung von Pulpozyten in sekundäre Odontoblasten zu einer teilweisen oder gänzlichen Überbrückung der Pulpaeröffnung. Im Gegensatz zu den Kalziumhydroxid-Suspensionen (z.B. Calxyl) geben erhärtende Kalziumhydroxidpräparate (z.B. Reocap, Dycal) nach dem Abbinden weniger Hydroxyl- und Kalziumionen ab, bilden jedoch eine mechanisch widerstandsfähigere Schicht als die Suspensionen.

Unerwünschte Eigenschaften: Als unerwünschte Reaktion auf Kalziumhydroxid kann die lokale Nekrose angesehen werden (29). Auch geringe Entzündungserscheinungen der Pulpa werden von BHASKAR et al. (5) negativ gewertet. Die gesunde Pulpa ist jedoch zu einer Ausheilung in der Lage. Im Tierversuch haben Kalziumhydroxide im Gegensatz zum Zinkoxid-Eugenol keinen Einfluß auf die intradentale Nervaktivität (62). Dies korreliert mit der klinischen Beobachtung, daß Kalziumhydroxide nicht schmerzlindernd wirken (50).

Erhärtende Kalziumhydroxid-Präparate erwiesen sich im Tierversuch an Affenzähnen bei dreimonatiger Liegezeit als pulpaverträglich. Gleiches wurde bei kleinsten Pulpaeröffnungen beobachtet (47). Die Beobachtungen von TRONSTADT und WENNBERG (61), nach denen es nach direkter Überkappung zu Pulpanekrosen kommt, konnten wir nur bei sehr großflächigen Eröffnungen der Pulpa an Schweinezähnen bestätigen.

Erhärtende Kalziumhydroxid-Präparate sind außerdem nicht stabil, sondern werden hydrolytisch zersetzt (28). Eine wesentliche Rolle spielt dabei der Weichmacher (44).

Indikation: Kalziumhydroxid-Präparate sind in allen Fällen einer Caries profunda ohne Schmerzsymptomatik, sowie bei der direkten Überkappung und bei der Vitalamputation indiziert. Erhärtende Kalziumhydroxid-Zemente müssen im Augenblick zurückhaltend beurteilt werden.

Kortikoid-Antibiotika-Präparate

Therapeutische Eigenschaften: Die therapeutische Wirkung von Kortikoid-Antibiotika-Präparaten besteht in ihrer schmerzlindernden Wirkung. Diese Präparate beeinflussen jedoch nur die akute Phase der Entzündung, weshalb chronische Prozesse weiter fortschreiten, da Entzündungsherde nicht beseitigt werden (29).

Der Wirkungsmechanismus beruht vor allem auf der Hemmung der Prostaglandinbildung (64). Dadurch wird eine Sensibilisierung der Schmerzrezeptoren verhindert (64), die Kapillarpermeabilität verringert (29) und die Ödembildung unterdrückt (41). Durch Calxyl werden sowohl die Kortikoide als auch Lokalantibiotika innerhalb weniger Tage inaktiviert.

Unerwünschte Eigenschaften: Die unerwünschte Wirkung von Kortikoiden besteht darin, daß Krankheitssymptome unterdrückt und damit der wahre Zustand der Pulpa mit einem Fortschreiten der chronischen Entzündung maskiert wird. Die Fähigkeit der Pulpa zur Reizdentinbildung soll reduziert sein (2).

Indikation: Kortikoid-Antibiotika-Pasten sind im Rahmen der Notfallendodontie zur sofortigen Schmerzbeseitigung indiziert, wenn eine vitale Pulpa vorliegt und diese in einer späteren Sitzung entfernt wird. Eine kurzzeitige Anwendung zur Schmerztherapie bei einer reversiblen Pulpitis bzw. als Mischung mit Calxyl wird von einigen Autoren empfohlen.

Bei den bisher behandelten Materialien zur Vitalerhaltung der Pulpa ergeben sich somit Indikation und Verarbeitung aus den jeweiligen werkstoffkundlichen und pharmakologischen Eigenschaften, die in vitro oder im Tierexperiment dargestellt und durch klinische Untersuchungen belegt werden konnten. Allerdings bestehen insbesondere bei der Indikation von Kortikoid-Antibiotika-Pasten durchaus unterschiedliche Auffassungen, die wiederum jeweils das Ergebnis entsprechender werkstoffkundlicher Prüfungen sind. Auf die sich daraus ergebende Frage nach der Relevanz werkstoffkundlicher Untersuchungen wird am Ende dieses Referates eingegangen.

2. Spülung und Desinfektion

Systematik

Voraussetzung für eine ausreichende Spülung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems ist eine genügende Aufbereitung (45). Von der Industrie werden eine Vielzahl von Substanzen zur Spülung und Desinfektion angeboten. Ihre Wirkungsweise beruht im Prinzip auf einer mechanischen Spülwirkung oder/und auf einer chemischen Beeinflussung der Bakterienflora und verbliebener Pulpareste.

Substanzen mit vornehmlich mechanisch-spülender Wirkung sind z.B. physiologische NaCl-Lösung oder 3%iges H₂O₂. Bakterizide Eigenschaften besitzen z.B. 0,1%iges Chlorhexidin, ED84, 0,5–5%iges NaOCl, Alkohol.

Physiologische Kochsalzlösung

Therapeutische Wirkung: Die Wirksamkeit von physiologischer Kochsalzlösung zur Kanalsäuberung von Dentinsplintern und Geweberesten und als Schmiermittel bei der Aufbereitung wurde von BAKER et al. (1) nachgewiesen, wobei auch über eine wesentliche Reduktion der Bakterienflora berichtet wurde. Periapikales Gewebe wird durch physiologische Kochsalzlösung nicht traumatisiert.

Unerwünschte Eigenschaften: Eine chemische Gewebauflösung ist nicht möglich (25) und die Desinfektionskraft ist bei massiver bakterieller Kontamination schlechter als bei anderen Präparaten (52).

Indikation: Physiologische Kochsalzlösung kann zur Spülung und Reinigung des Wurzelkanalsystems verwandt werden, wenn eine bakterielle Invasion ausgeschlossen werden kann, d. h. im Rahmen einer Vitalexstirpation.

H₂O₂

Therapeutische Wirkung: Da beim Kontakt von H₂O₂ mit Gewebeperoxidasen naszierender Sauerstoff entsteht und dies zum Aufschäumen führt, wird die mechanische Kanalreinigung verstärkt. Manche Autoren beschreiben die wechselweise Anwendung von Natriumhypochlorid und H₂O₂ (22,41), wobei die bakteriziden und gewebeauflösenden Eigenschaften des Natriumhypochlorids und die verstärkt aufschäumende Wirkung des H₂O₂ kombiniert werden.

Unerwünschte Eigenschaften: Die bakteriziden Eigenschaften von H_2O_2 sind sehr gering, auch eine chemisch bedingte Gewebauflösung ist nicht beobachtet worden (6). Bei einer alternierenden Verwendung von Natriumhypochlorid und H_2O_2 kann es zu einem Hinauspressen von nekrotischem Material über den Apex kommen (54). Außerdem wird in der Literatur über Wangenemphyse nach Applikation von H_2O_2 berichtet (42). Dabei handelt es sich jedoch um seltene und therapeutisch problemlose Zwischenfälle, deren Symptome auch ohne Therapie innerhalb von 2 bis 4 Tagen abklingen (42).

3%iges H_2O_2 kann als nicht gewebeschädigend angesehen werden.

Indikation: 3%iges H_2O_2 findet dann Anwendung, wenn eine bakterielle Kontamination ausgeschlossen werden kann, d.h. im Rahmen einer Vitalexstirpation.

Natriumhypochlorid (NaOCl)

Therapeutische Wirkung: NaOCl wirkt gewebeauflösend, antimikrobiell und verhindert bzw. schränkt die postendodontische Verfärbung von Zähnen ein (22). Die bakterizide Wirkung erstreckt sich u.a. auf vergrünende Streptokokken, Staphylokokken und *Candida albicans* (6). Die bakteriziden Eigenschaften von 2,5% NaOCl sind ausgeprägter als von 0,2% Chlorhexidin (48). Auch bakterielle Toxine werden abgebaut und unwirksam gemacht (9).

Unerwünschte Eigenschaften: Die früher beobachtete Korrosion von Wurzelkanalinstrumenten durch 5%iges NaOCl fällt bei modernen rostfreien Legierungen nicht auf (15).

NaOCl ist — je nach Konzentration — unterschiedlich gewebeirritierend. Die 5%ige Lösung ist stark ätzend, eine 0,5%ige Lösung, wie von SPANGBERG et al. (53) empfohlen zwar gewebeschonender, jedoch sind die bakteriziden und gewebeauflösenden Eigenschaften nicht so ausgeprägt.

NaOCl hat eine begrenzte Lagerstabilität. Bei auf dem Markt befindlichen Präparaten sind stabilisierende Zusätze beigefügt, die Wirkung nach der Applikation ist jedoch auf ca. 24 Std. begrenzt (6).

Indikation: NaOCl kann bei massiver bakterieller Kontamination (Gangränbehandlung) verwandt werden. Wegen der starken Ätzwirkung kann die 5%ige NaOCl -Lösung nicht empfohlen werden. Wir verwenden eine 3%ige Lösung (22).

Wegen der starken Toxizität darf NaOCl nur unter Cofferdam verwandt werden, wenn die Substanz mittels Einmalspritze und stumpfer Kanüle in den Kanal appliziert und ein Verspritzen in Gesicht und Augen des Patienten vermieden wird.

Mit der alternierenden Verwendung von NaOCl und H_2O_2 (bzw. Harnstoffperoxid) haben wir keine eigenen Erfahrungen. In jedem Fall darf H_2O_2 nicht als letztes Spülmittel dabei verwandt werden.

Alkohol

Therapeutische Wirkung: Alkohol (70–95%) ist ein mildes fettlösliches Desinfektionsmittel. Es eignet sich besonders gut zum Trocknen von aufbereiteten Wurzelkanälen (10).

Unerwünschte Eigenschaften: Über eine Schädigung des periapikalen Gewebes nach Wurzelkanalspülung mit Alkohol ist nichts bekannt. Allerdings ist auch die Desinfektionskraft sehr gering.

Indikation: Alkohol kann als letzte Spülung vor Applikation der Wurzelfüllmasse zum Trocknen des Wurzelkanalsystems verwandt werden.

Bei Substanzen zur Spülung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems ergeben sich somit Indikation und Art der Anwendung wiederum aus ihren werkstoffkundlichen bzw. pharmakologischen Eigenschaften. Aber auch hier bestehen, z.B. bei der Frage der klinisch richtigen Konzentration von NaOCl, durchaus Meinungsunterschiede. Bakterizide Eigenschaften sind in aller Regel mit einer entsprechenden lokalen Toxizität vergesellschaftet. Eine kurzzeitige Einwirkung vergleichsweise gewebschädigender Substanzen kann jedoch dann gerechtfertigt sein, wenn eine wirkungsvolle Desinfektion zum Therapieerfolg notwendig ist und dem Gewebe anschließend durch ein inertes Füllmaterial die Möglichkeit zur Ausheilung gegeben wird.

3. Medizinische Einlage

Systematik

Folgende Substanzen werden verwandt:

- Desinfektionsmittel (z.B. Chlorphenole)
- Kortikoid-Antibiotika-Präparate (z.B. Ledermix)
- Kalziumhydroxidpräparate (z.B. Calxyl)

Chlorphenole

Therapeutische Eigenschaften: Nach in vitro Untersuchungen (6) sind Chlorphenole wirksame Desinfektionsmittel u.a. bei vergrünenden Streptokokken und Staphylokokkus aureus. Unwirksam sind sie jedoch bei Candida albicans. Auch bei diesen Substanzen ist die Wirksamkeit auf die ersten 24 Stunden nach Applikation begrenzt.

Unerwünschte Eigenschaften: Chlorphenol (Bestandteil des ChKM) ist in den normalerweise verwandten Konzentrationen in der Zellkultur sowie im Tierexperiment deutlich irritierend (11,43,53), was auf ihrer eiweißkoagulierenden Eigenschaft beruht. Die gewebeirritierende Wirkung ist jedoch geringer als bei formalinhaltigen Präparaten, wie z.B. dem Formokresol (11,43,53).

Indikation: Chlorphenolpräparate können als routinemäßige medizinische Einlage im Rahmen der Gangränbehandlung Anwendung finden, wenn diese Präparate nur für kurze Zeit (wenige Tage) im Wurzelkanal verbleiben.

Kortikoid-Antibiotika-Präparate

Therapeutische Wirkung: Die Wirkungsweise dieser Präparate wurde bereits behandelt. Auch als Wurzelkanaleinlage steht die Schmerzblockade im Vordergrund (57).

Unerwünschte Eigenschaften: Auch diese wurden bereits erwähnt. Die im Rahmen der Vitalerhaltung der Pulpa befürchtete Einschränkung der Reizdentinbildung ist bei der medizinischen Einlage zu vernachlässigen, wenn die Indikation richtig gestellt wird. Allerdings wird durch lokale Anwendung von Kortikoiden, z.B. im Wurzelkanal der Kortikoidspiegel des Körpers geringfügig beeinflusst (29).

Indikation: Steht bei der Wurzelkanalbehandlung die Schmerzbeseitigung (anhaltende Beschwerden oder Notfall) im Vordergrund, so können Kortikoide verwandt werden. Nach

SCHRÖDER (58) empfiehlt sich die Mischung mit einem Desinfektionsmittel (5 Teile Leder-mix, 1 Teil Asphaline). Manche Autoren empfehlen auch die routinemäßige Anwendung dieses Gemisches bei der Gangränbehandlung. Die Liegezeit kann Tage bis Monate (58) betragen.

Kalziumhydroxidpräparate

Therapeutische Wirkung: Kalziumhydroxid besitzt eine ausgeprägt bakterizide Wirkung (60). Es bewirkt nicht nur eine Sekundär- oder Tertiärdentinbildung der Pulpa, sondern es kann auch die Regeneration apikalen Knochens stimulieren und die Bildung einer apikalen Hartsubstanzbarriere bei Zähnen mit unvollständigem Wurzelwachstum im Sinne einer Apexifikation anregen (27). Der Wirkungsmechanismus ist im Einzelnen unbekannt. Es konnte jedoch gezeigt werden, daß durch Auffüllen des Wurzelkanals mit Kalziumhydroxid eine deutliche Alkalisierung des gesamten Dentins erreicht wird (26,60). Saure hartsubstanzlösende Stoffwechselprodukte werden neutralisiert und die alkalische Phosphatase, die bei der Hartsubstanzbildung eine wesentliche Rolle spielt, wird aktiviert (60).

Neben dem bekannten Kalziumhydroxid-Präparat Calxyl ist seit kurzem ein sich leicht verfestigendes Präparat (Gangrän-Merz) auf dem Markt, das ebenfalls Kalziumhydroxid enthält. Es ist vom BGA zur temporären Wurzelkanaleinlage freigegeben worden. Auch bei diesem Präparat werden die beim Calxyl vielfach nachgewiesenen therapeutischen Wirkungen postuliert (12).

Unerwünschte Eigenschaften: Kalziumhydroxidpräparate sind nach Untersuchungen von SPANGBERG et al. (53) in der Zellkultur und im Tierexperiment nicht oder nur gering toxisch. Auch beim Patienten ist keine gewebeirritierende Reaktion beobachtet worden.

Bei dem bereits erwähnten Präparat Gangrän-Merz wurde über eine geringe Zelltoxizität von KLAIBER et al. (32) berichtet. In eigenen Zellkulturversuchen nach einem von der FDI anerkannten Prüfverfahren wurde ein eindeutiger zellschädigender Effekt nachgewiesen, der jedoch mit zunehmender Liegezeit nachließ. Allerdings hat sich das Präparat bis zu 3 Tage nach dem Anmischen nicht verfestigt.

Indikation: Bei symptomfreien Zähnen kann Kalziumhydroxid als Langzeiteinlage verwandt werden, wenn die apikale Knochenregeneration oder die Bildung einer apikalen Hartsubstanzbarriere stimuliert werden soll. Obwohl auch manche Autoren berichten, daß ein einwandfrei abgefüllter Wurzelkanal per se zu einer Regeneration apikaler Osteolysen führt, so scheinen Kalziumhydroxide diesen Prozeß jedoch zu beschleunigen. Die Kalziumhydroxid-Einlage sollte nach 3–6 Monaten erneuert oder durch die definierte Wurzelfüllung ersetzt werden.

Inwieweit Gangrän-Merz eine vermutete und publizierte ähnliche oder bessere Wirkung besitzt, sollte klinisch und im Tierexperiment von nicht beteiligten Forschungsteams untermauert werden. Zur definitiven Wurzelkanalfüllung ist Gangrän-Merz vom BGA nicht freigegeben.

Auch für die medizinische Einlage stehen somit grundsätzlich verschieden konzipierte Substanzen zur Verfügung, wobei sich Indikation und Verarbeitung aus ihren Eigenschaften ableiten lassen. Mögliche toxische Eigenschaften können dann in Kauf genommen werden, wenn die therapeutische Wirkung im Vordergrund steht und die Wirkungsweise zeitlich begrenzt ist. Ist das anschließend applizierte Wurzelkanalfüllmaterial inert, kann das gfs. geschädigte Gewebe ausheilen.

4. Wurzelkanalfüllung

Systematik

Gemäß einem ISO-Vorschlag (46) unterteilt man diese Werkstoffe in

1. Pasten („Sealer“)
2. Stifte.

Bei den Pasten unterscheidet man wiederum weichbleibende von erhärtenden. Weichbleibende Pasten (z.B. Jodoformpaste) werden wegen der schnellen Resorption nicht zum Verschuß empfohlen (auch nicht bei Milchzähnen), sondern finden allerhöchstens als medizinische Einlage Verwendung.

Die meisten erhärtenden Pasten enthalten als Basis:

1. Zinkoxid-Eugenol (z.B. N2, Grossman-Zement)
2. Kunststoff (z.B. AH26, Diaket)
3. gelöste Guttapercha (z.B. Chloropercha).

Die meisten Pasten enthalten pharmakologisch wirksame Substanzen, die der Dauerdesinfektion dienen oder einen Knochenanbau anregen sollen. N2 und Endomethasone enthalten als Desinfektionsmittel Parformaldehyd, das in wässriger Lösung langsam Formalin freisetzt. Kortikoide sind im Endomethasone und waren im N2 enthalten. Eine Ausnahme bildet das AH26, das in vollständig abgebundenem Zustand keine pharmakologische Wirkung besitzt.

Die Stifte werden in ungenormten und genormten Abmessungen geliefert. Ungenormte Stifte werden in verschiedenen, jedoch zwischen den Herstellern variierenden Größen (fein – mittel – stark) aus Kunststoff oder Guttapercha angeboten. Genormte Stifte mit Abmessungen, die den jeweiligen von der ISO festgelegten Größen der Wurzelkanalaufbereitungsinstrumente entsprechen (bzw. geringfügig kleiner sind), bestehen aus Guttapercha, Silber oder in neuester Zeit aus Gold und Titan (37).

Chloropercha

Therapeutische Eigenschaften: Die Wandständigkeit von Chloropercha ist schlecht, da das Material nach dem Abtransport des Chloroforms schrumpft und somit in seiner Dichtigkeit nachläßt (24). Die klinische Bedeutung einer guten Wandständigkeit besteht in einem bakteriendichten Abschluß zum periapikalen Bereich hin (8).

Die Röntgenopazität ist nicht so gut wie beim Diaket oder AH26, aber ausreichend (8).

Da die mechanischen Belastungen einer Wurzelkanalfüllung gering sind, ist eine besondere Festigkeit des Materials nicht erforderlich. Die von Chloropercha erreichten Werte sind ausreichend. Eine partielle Entfernung der Wurzelkanalfüllung ist ohne Probleme möglich, falls dies im Rahmen einer Revision oder Versorgung mit einem Stiftaufbau erforderlich ist.

Unerwünschte Eigenschaften: Chloropercha war auf Zellkulturen und im Tierversuch anfänglich toxisch, was seine Ursache im Chloroform hat (55). Nach einer Alterungszeit von 24 Stunden jedoch war Chloropercha wesentlich weniger gewebschädigend als Diaket oder N2. Nach Implantation in die Kaninchenmuskulatur (56) ist die lokal-toxische Wirkung geringfügig höher als beim AH26 (Abb. 5,6).

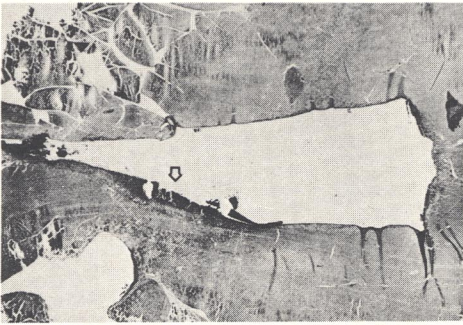


Abb. 5 Mäßige zelluläre Reaktion (Pfeil) nach Implantation von Chloropercha – 24 Std. Alterung vor Versuchsbeginn (Vergr.: ca. 40×)

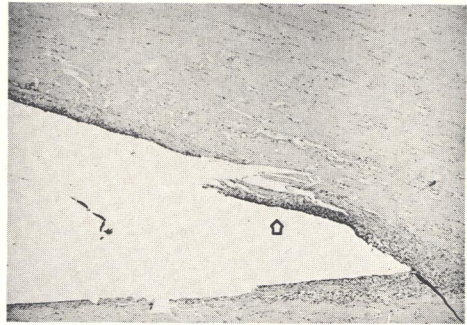


Abb. 6 Keine zelluläre Reaktion (Pfeil) nach Implantation von AH26 – 24 Std. Alterung vor Versuchsbeginn

Indikation: Chloropercha ist bzw. war nur zum Einzementieren von Guttaperchastiften indiziert. Wegen der verhältnismäßig starken Schrumpfung, vor allem aber wegen biologischer Probleme im Umgang mit Chloroform sollte in Zukunft auf Chloropercha verzichtet werden.

AH26

Therapeutische Eigenschaften: Bei Verwendung von AH26 zur Wurzelkanalfüllung wurde über eine nur geringe Randspaltbildung berichtet (58).

Die Röntgenopazität ist aufgrund des zugesetzten Silbers (10%) gut.

Die mechanischen Eigenschaften von AH26 sind ausreichend (16), die Entfernung bei einer späteren Stiftversorgung jedoch schwierig, weshalb eine zusätzliche Verwendung von Guttaperchastiften empfohlen wird.

In dem AH26 kurz nach dem Anmischen geringe Mengen von Formalin freisetzt, ist eine zeitlich begrenzte bakterizide Wirkung vorhanden (41). Klinische röntgenologische Untersuchungen ergaben Erfolgsquoten von 88% (63) bis 96,6% (13).

Unerwünschte Eigenschaften: Nach verschiedenen Untersuchungen auf der Zellkultur und am Versuchstier zeigte AH26 eine anfängliche Toxizität, die jedoch nach einer Alterungszeit von 24 Stunden gänzlich verschwunden war (Abb. 6). Im Vergleich zu N2 (Abb. 7) und Diaket (Abb. 8) reagierte AH26 wesentlich weniger toxisch. Die anfänglich gewebeirritierende Wirkung ist auf das Freisetzen von Formalin zurückzuführen.

Indikation: AH26 ist zum Zementieren genormter Wurzelkanalstifte indiziert.

Diaket

Therapeutische Eigenschaften: Diaket zeigt als Wurzelkanalfüllmaterial nur eine sehr geringe Randspaltbildung (22). Die Röntgenopazität ist ausreichend. Die mechanischen Eigenschaften von Diaket sind gut (16).

Diaket hat eine deutlich bakterizide Wirkung auf eine Reihe oraler Bakterien mit Ausnahme von vergürterter Streptokokken (6,31). Klinische Untersuchungen ergaben Erfolgsquoten von 98% (17).

Unerwünschte Eigenschaften: Diaket besitzt eine ausgeprägte Toxizität auf Zellkulturen, die nach Angaben mancher Autören geringer, nach Angaben anderer derjenigen von N2 vergleichbar ist. Eine entsprechende Reaktion wurde auch nach Implantation in Ratten, Kaninchen (Abb. 7) und Meerschweinchen hervorgerufen. Mit zunehmender Liegezeit ließ die Reaktion nach, ohne jedoch ganz zu verschwinden. Am Patienten kam es nach Überfüllung des unteren zweiten Prämolaren zu einer Parästhesie des Nervus mentalis. Nachdem ein Teil der Wurzelfüllmasse durch eine Fistel abgestoßen war, erfolgte die Ausheilung.

Indikation: Wegen der dauerdesinfizierenden und damit gewebeirritierenden Eigenschaften halten wir Diaket im Rahmen der Regelbehandlung für nicht indiziert. Granulome sind meist frei von Bakterien (24) und das Ergebnis einer zellulären immunologischen Reaktion (59). Eine genügende biomechanische Kanalaufbereitung und die Abfüllung mit einem inerten Füllmaterial führt zu einer Ausheilung apikaler Granulome (24). In Ausnahmefällen, in denen z.B. der Wurzelkanal nicht vollständig aufbereitet werden kann, der Zahn jedoch unbedingt erhalten werden muß, kann nach entsprechender Aufklärung des Patienten als Kompromißlösung Diaket verwandt werden.

N2, Endomethasone

Therapeutische Eigenschaften: Diese auf Zinkoxid-Eugenol-Basis beruhenden Pasten zeichnen sich durch eine bessere Randständigkeit aus als das Chloropercha, sind jedoch nicht vollständig randdicht (19,39). Die Röntgenopazität sowie die mechanischen Eigenschaften sind ausreichend. Die bakteriziden Wirkungen sind bei beiden Präparaten sehr ausgeprägt (6).

Unerwünschte Eigenschaften: Entgegen manchen Angaben aus der Literatur sind beide Materialien resorbierbar. Sie sind in der Zellkultur und nach Implantation in Versuchstieren äußerst toxisch. In eigenen Versuchen rief das N2 die schwerste Reaktion in der Zellkultur und nach intramuskulärer Implantation hervor (Abb. 8). Bei beiden Materialien konnten beim Überstopfen von Unterkiefermolaren und Prämolaren in mehreren Fällen Entzündung, Schwellung und Parästhesien im entsprechenden Unterkieferbereich beobachtet werden (14,18,20,21,38,40).

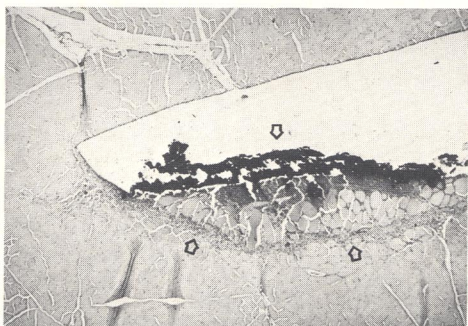


Abb. 7 Massive Reaktion (Pfeil) nach Implantation von Diaket – 24 Std. Alterung vor Versuchsbeginn (Vergr.: ca. 40×)

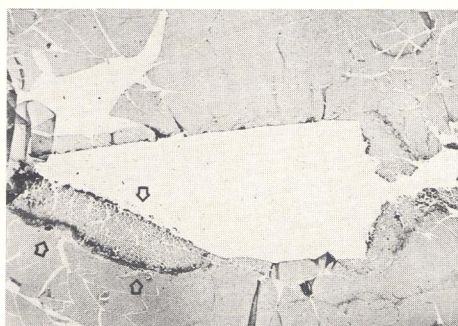


Abb. 8 Massive Reaktion (Pfeil) nach Implantation von N2 – 24 Std. Alterung vor Versuchsbeginn (Vergr.: ca. 40×)

LANGELAND (35) beobachtete an Affen und Schweinen nach Applikation von N2 eine akute und persistierend chronische Entzündung in der periapikalen Region. Am Patienten konnten chronische Entzündungen nach Verwendung von N2 bei bis zu 652 Tagen Liegezeit nachgewiesen werden (36). Die Ursache der ausgeprägten Toxizität von Endomethasone und

N2 ist wahrscheinlich das Paraformaldehyd. In Konzentrationen, in denen Paraformaldehyd die gewünscht desinfizierende Wirkung zeigt, wirkt es toxisch (18). Nach einer klinischen Vergleichsuntersuchung an überfüllten Wurzelkanälen wurde für N2 eine hundertprozentige Mißerfolgsrate gefunden, bei Guttapercha nur eine solche von 22,5% (3).

Trotz dieser allgemein anerkannten hohen lokalen Toxizität beider Präparate, wird von manchen Autoren über gute klinische Erfolge berichtet (49), wobei Schmerzfreiheit – eines der Erfolgskriterien – durch die Wirkung der Kortikoide erklärbar ist. Auf die Problematik dauerdesinfizierender Wurzelkanalpasten wurde bereits beim Diaket hingewiesen.

Indikation: Wegen der ausgeprägten Toxizität sehen wir heute keine Indikation mehr für diese Materialien am bleibenden Zahn, da gleiche klinische Erfolge mit inerten Wurzelfüllmaterialien erzielt werden konnten (24) und keine Gefahr einer toxischen Schädigung für periapikales Gewebe, d.h. für Kieferhöhle und N. mandibularis besteht.

Stifte

Therapeutische Eigenschaften: Stifte zeichnen sich durch eine sehr gute Volumenkonstanz aus (23). Guttaperchastifte werden bei tiefen Temperaturen härter, jedoch nicht spröder (23), weshalb sie vor dem Einzementieren u.U. mit Kältespray gefestigt werden können.

Da Stifte immer in den Wurzelkanal einzementiert werden müssen, ist die Wandständigkeit auch vom verwandten Zement abhängig. Allerdings werden nach dem Einzementieren von Silberstiften besonders ausgeprägte Randspalten aufgrund der Korrosion des Silbers (51) berichtet. Diese Korrosion von Silberstiften konnte auch nach intraossärer Implantation an der Ratte (65) beobachtet werden.

Die Röntgenopazität der Stifte ist gut. Selbst Guttaperchastifte zeigen eine Röntgenopazität zwischen 11–16 mm Aluminiumgleichwert. Die von der ANSI/ADA geforderte Opazität liegt bei 4 mm (30). Man soll sich jedoch von der optimalen Wiedergabe von Silberstiften auf dem Röntgenbild nicht dahingehend täuschen lassen, daß diese Wurzelkanalfüllungen besonders randdicht seien (24), das Gegenteil ist der Fall (51).

Die mechanischen Eigenschaften der Stifte sind gut, jedoch kann es Schwierigkeiten bereiten, Metallstifte im Nachhinein aus dem Wurzelkanal im Rahmen eines später eingegliederten Stiftaufbaus zu entfernen. Hier sollte die Metallpoint-Technik Anwendung finden, bei der nur das apikale Viertel des Wurzelkanales durch eine entsprechende Stiftspitze verschlossen wird.

Unerwünschte Eigenschaften: Silber korrodiert im Wurzelkanal. Die Folge dieses kontinuierlichen Lösungsprozesses ist nicht nur die geringere Dichtigkeit der Wurzelfüllung, sondern auch eine ausgeprägte Gewebeschädigung durch Korrosionsprodukte. Diese führen zu periapikalen Osteolysen (51).

Guttapercha ist im Vergleich mit den anderen behandelten Wurzelfüllmaterialien der gewebeverträglichste Werkstoff. In eigenen Untersuchungen konnte keine Reaktion des Testgewebes (Zellkulturen und Kaninchenmuskulatur) gefunden werden. Auch nach Implantation von Guttapercha in den Kieferknochen vom Menschen trat nach wenigen Tagen Symptombefreiheit ein. Im histologischen Bild zeigte sich eine fast blanke Reaktion (55).

Indikation: Genormte Guttaperchastifte werden im Rahmen der Routinebehandlung zum Abfüllen von lege artis aufbereiteten und getrockneten Wurzelkanälen verwandt. Zum Einzementieren kann AH26 empfohlen werden.

Eine Ausnahme bilden enge Kanäle, bei denen eine Kanalaufbereitung nur bis zur Größe 30 möglich ist. In derart dünnen Kanälen knicken die weichen Guttaperchastifte oftmals um und können nicht bis zum Apex vorgeschoben werden, weshalb wir in diesen Fällen ausnahmsweise die festeren Silberstifte verwenden und mit AH26 einzementieren.

5. Klinische Bedeutung werkstoffkundlicher Untersuchungen

Anhand einiger Materialien sollte beispielhaft gezeigt werden, daß sich Indikation und Verarbeitung aufgrund werkstoffkundlicher Untersuchungen etabliert haben. Es bestehen jedoch auch Diskrepanzen, indem ein Material vom werkstoffkundlichen Standpunkt aus abgelehnt wird, klinisch jedoch zumindest befriedigende Resultate erzielt werden. Dafür können mehrere Gründe genannt werden. Zum einen besitzen werkstoffkundliche Untersuchungen Modellcharakter, d.h. es wird nur ein bestimmter Aspekt herausgelöst betrachtet. Das bedeutet wiederum, daß das Modell die klinische Situation der entsprechenden Fragestellung gemäß exakt widerspiegeln soll und daß unter dieser Voraussetzung möglichst viele Facetten eines Materiales im Sinne einer Gesamtschau beleuchtet werden müssen, um es charakterisieren zu können. Dies wird leider bei der Interpretation werkstoffkundlicher Prüfergebnisse nicht immer berücksichtigt.

Auf der anderen Seite sind klinische Erfahrung und klinische Nachkontrollen – so wichtig sie sind – mit großen methodischen Problemen belastet (55). So ist – wie gezeigt wurde – Schmerzfreiheit allein kein verlässliches Maß für Gewebeverträglichkeit. Auch die röntgenologische Kontrolle periapikaler Veränderungen läßt heute nur sehr grobe Rückschlüsse auf Materialeigenschaften zu. Histologische Kontrollen von Biopsien sind jedoch nicht im ausreichenden Umfange möglich. Sowohl werkstoffkundliche als auch klinische Untersuchungen unterliegen somit Limitationen. Eine sinnvolle Ergänzung beider Bereiche ist daher erforderlich.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. G. Schmalz, Universitätsstr. 31, 8400 Regensburg

1. Baker, N. A., Eleazer, P. D., Auerbach, R. E. and Seltzer, S.: Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. — *J Endo* 1, 127 (1975)
2. Baume, L. J.: Clinical and pathohistological aspects of current endodontic therapy. — *Int. Dent. J.* 16, 30 (1966)
3. Bernhöft, J., Albers, H.-K. und Franke, J.: Vergleichende röntgenologische Untersuchungen von Wurzelfüllungen mit N2 und Guttapercha. — *Dtsch. Zahnärztl.* 36, 222 (1981)
4. Beschluß der „Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamten der Länder“ (710-4-289-486/79)
5. Bhaskar, S. N., Cutright, D. E., Boyers, S. N. and Margetis, P. M.: Pulp capping with isobutyl cyanoacrylate. — *J Amer. dent. Ass.*, 79, 640 (1969)
6. Bössmann, K. und Hoppe, W. F.: Über die antimikrobielle Wirksamkeit verschiedener Mittel zur Behandlung und Versorgung des infizierten Kanals. — *Dtsch. Zahnärztl. Z* 36, 217 (1981)
7. Brännström, M. and Billberg, B.: Pulp changes beneath temporary filling with pharmatec and zincoxide-eugenol. — *Odont. Revy.* 18, 17 (1967)
8. Branstetter, J. and Fraunhofer, J. A.: The physical properties and sealing action of endodontic sealer cements: a review of the literature. — *J Endo* 8, 312 (1982)
9. Buttler, T. K. and Crawford, J. J.: The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxins. — *J Endo* 8, 59 (1982)
10. Cathey, G. M.: Molar endodontics. — *Dent. Clin. North Amer.* 18, 345 (1974)
11. Desai, B. D., Singh, I. and Talim, S.: Inflammatory potential of root canal sterilizing agents. — *J Indian dent. Ass.* 45, 71 (1973)
12. Dietz, G.: *Moderne Endodontie in der täglichen Praxis.* — Hüthig Verlag, Heidelberg 1981
13. EGLI H.: Wurzelfüllmaterial AH26. Röntgenologische Nachkontrollen über Erfolge und Mißerfolge. — *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 18, 407 (1963)
14. Ehrmann, E. H.: Treatment with N2 root canal sealer. — *Br. Dent. J* 117, 409 (1964)
15. Eichner, M. A., Schoen, D. M. Goldmann, M. and Kronmann, J. H.: Effect of protein and sodium hypochlorite on endodontic instruments. — *J Endo* 2, 335 (1976)
16. Fraunhofer, J. A. and Branstetter, J.: The physical properties of four endodontic sealer materials. — *J Endo* 8, 126 (1982)
17. Fricke, E.: Klinische Untersuchungen zur Frage der Verwendbarkeit des Kunststoffwurzelfüllmaterials Diaket bei der Wurzelspitzenresektion. — *Zahnärztl. Welt* 18, 594 (1964)
18. Friedemann, C. E., Pitts, D. L. and Natikin, E.: Formaldehyde pastes. — *Dent. Clin. N. Amer.* 23, 705 (1979)
19. Grieve, A. R. and Parkholm, J. D. O.: The sealing properties of root filling cements; further studies. — *Brit. Dent. J.* 125, 327 (1973)
20. Grossman, L. I.: Paresthesia from N2 or N2 substitute. — *Oral Surg.* 45, 114 (1978)
21. Grossman, L. I. and Tatolian, G.: Paresthesia from N2: report of a case. — *Oral Surg.* 46, 700 (1978)
22. Guldner, H. A.: Endodontie — Eine Literaturübersicht. — *Schweiz. Mschr. Zahnheilk.* 88, 417 (1978)
23. Guldner, P. H. A.: Endodontie — Eine Literaturübersicht. — *Schweiz. Mschr. Zahnheilk.* 89, 224 (1979)
24. Guldner, P. H. A. und Langeland, K.: *Endodontologie — Diagnostik und Therapie.* — Thieme Verlag, Stuttgart — New York 1982
25. Hand, R. E., Smith, M. L., Harrison, J. W.: Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. — *J. Endo* 4, 60 (1978)
26. Hasselgren, G. Kerekes, K. and Nellestam, P.: pH changes in calcium hydroxide-covered dentin. — *J. Endo* 8, 502 (1982)

27. Herforth, A. und Seichter, U.: Die apikale Hartschubstanzbarriere nach temporären Wurzelkanalfüllungen mit Kalziumhydroxid. — Dtsch. Zahnärztl. Z. 35, 1053 (1980)
28. Hoppe, W. und Staehle, H. J.: Klinische und experimentelle Untersuchungen über die chemische Beständigkeit von Unterfüllungsmaterialien. — Dtsch. Zahnärztl. Z. 39, 123 (1984)
29. Hübers, B.: Antibiotika und Kortikoide in der zahnärztlichen Praxis. — ZM-Fortbildung, 4, 217 (1981)
30. Kaffe, I., Littner, M. M., Tagger, M. and Tamse, A.: Is the radioopacity standard for gutta-percha sufficient in clinical use? — J. Endo 9, 58 (1983)
31. Klaiber, B., Grüner, W. und Bredt, W.: Antimikrobielle Wirksamkeit von Wurzelfüllmaterialien, provisorischen Befestigungszementen und Unterfüllungs- bzw. Überkappungsmitteln. — Dtsch. Zahnärztl. Z. 37, 448 (1982)
32. Klaiber, B., Kaden, P. und Schwechten, I.: Toxizitätsbestimmung von Wurzelfüllmaterialien und deren einzelnen Komponenten in der Zellkultur. — Dtsch. Zahnärztl. Z. 4, 212 (1981)
33. Kozam, G.: The effect of Eugenol on nerve transmission. — Oral Surg. 44, 799 (1977)
34. Lamberts-Hepp, U.: Die akute unspezifische Toxizität von Zementen und Composite-Kunststoffen im intramuskulären Kaninchenimplantations-Test. — Tübingen: Med. Diss., 1982
35. Langeland, K.: Root canal sealant and pastes. — Dent. Clin. N. Amer 18, 309 (1974)
36. Langeland, K., Guttuso, J., Langeland, L. K. and Tobon, G.: Methods in the study of biologic responses to endodontic materials. Tissue response to N2. — Oral Surg. 27, 522 (1969)
37. Messing, J. J.: The use of titanium cones and apical tips as root canal filling materials. A clinical evaluation. — Brit. dent. J. 148, 41 (1980)
38. Montgomery, S.: Paresthesia following endodontic treatment. — J. Endo 2, 345 (1976)
39. Niederdelmann, H., Krekeler, G. und Kaupp, E.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zur Beurteilung der Wandständigkeit von Wurzelfüllungen im apikalen Bereich. — Zahnärztl. Welt 85, 773 (1976)
40. Orlay, H.: Overfilling in root canal treatment: two accidents with N2. — Br. Dent. J. 120, 376 (1966)
41. Pecchioni, A.: Die Wurzelkanalbehandlung. — Quintessenz Verlag, Berlin 1982
42. Pöhlmann, L.: Emphysem nach Wurzelkanalbehandlung — ein Fallbericht. — Dtsch. Zahnärztl. Z. 35, 835 (1980)
43. Powel, D. L., Marshall, F. J. and Melfi, R. C.: A histopathologic evaluation of tissue reactions of the minimum effective doses of some endodontic drugs. — Oral Surg. 36, 261 (1973)
44. Prosser, H. J., Grofman, D. M. and Wilson, A. D.: The Effect of Composition on the Erosion Properties of Calcium Hydroxide Cements. — J. Dent. Res., 61, 1431 (1982)
45. Ram, Z.: Effectiveness of root canal irrigation. — Oral Surg. 44, 306 (1977)
46. Rehberg, H. J.: Überlegungen zur Normung der Wurzelkanal-Füllungsmaterialien. — Dtsch. Zahnärztl. Z. 36, 208 (1981)
47. Riethe, P., Rotgans, J. und Schmalz, G.: Tierexperimentelle Prüfungen mit einem neuen Füllungsmaterial (Isocap). — Dtsch. Zahnärztl. Z. 33, 609 (1978)
48. Ringel, M., Patterson, S. S., Newton, C. W., Miller, C. H. and Mulhern, J. M.: In vivo evaluation of chlorhexidine gluconate solution and sodium hypochlorite solution as root canal irrigants. — J Endo 8, 200 (1982)
49. Sargenti, A. G.: N2 — Rationelle Endodontie. — Quintessenz, Berlin, 1980
50. Sauerwein, E.: Zahnerhaltungskunde. — Thieme Verlag, Stuttgart — New York, 1981
51. Seltzer, S.: A scanning electron microscope examination of silver cones removed from endodontically treated teeth. — Oral Surg. 33, 589 (1972)
52. Senia, E. S., Marshall, F. J. and Rosen, S.: The solvent action of sodium hypochlorite and pulp tissue of extracted teeth. — Oral Surg 31, 96 (1971)

53. Spangberg, L., Engström, B. and Langeland, K.: Biologic effects of dental materials. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. — Oral Surg. 36, 856 (1973)
54. Schilder, H. — in: Cohen, S. and Burns, R. C.: Pathways of the pulp. Mosby Co., St. Louis 1976
55. Schmalz, G.: Die Gewebeverträglichkeit zahnärztlicher Materialien. Möglichkeiten einer standardisierten Prüfung in der Zellkultur. — Stuttgart: Thieme, 1981
56. Schmalz, G.: A modification of the rabbit implantation test for semisolid materials. — J. dent. Res. (im Druck)
57. Schroeder, A.: Corticoidtherapie in der Endodontie. — Dtsch. Zahnärztl. Z. 17, 244 (1962)
58. Schroeder, A.: Endodontie. — Quintessenz Verlag, Berlin 1981
59. Stern, M. H., Dreizen, S., Mackler, B. F. and Levy, B. M.: Isolation and Characterization of Inflammatory Cells from the Human Periapical Granuloma. — J. Dent. Res. 61, 1408 (1982)
60. Tronstadt, L., Andreassen, J. O., Hasselgren, G., Kristerson, L. and Riis, I.: pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. — J. Endo 7, 17 (1981)
61. Tronstadt, L. and Wennberg, A.: Biologic tests of a proposed pulp agent Reocap. — Odont. Revy. 27, 109 (1976)
62. Trowbridge, H., Edwall, L., Panopoulos, P.: Effect of zinc oxide-eugenol and calcium hydroxide on intradental nerve activity. — J Endo, 8, 403 (1982)
63. Tschamer, H.: Vorläufige klinisch-röntgenologische Kontrollergebnisse nach Wurzelkanalfüllungen mit den Wurzelfüllmitteln AH 26, Renum, N2 und der kunstharz kombinierten Wurzelfüllpaste nach Riebler. — Dtsch. Zahnärztl. Z. 18, 394 (1953)
64. Ziegler, A.: Pharmakologie der Antiphlogistika. — Zahnärztl. Welt 87, 10 (1978)
65. Zielke, D.R., Brady, J.M. and Delrio, C.E.: Corrosion of silver cones in bone: a scanning electron microscope and microprobe analyses. — J Endo 1, 356 (1975)